

Vorstellungen zu weißem Licht

C. Haagen-Schützenhöfer*, S. Langer*, R. Hiller*, A. Kligenböck*, C. Rohringer*, G. Franz*,
V. Parzer*, P. Ritt*, C. Steiner*, D. Stifter*

*AECC Physik, Universität Wien, Porzellangasse 4/2/2, 1090 Wien

claudia.haagen@univie.ac.at, <Sarah Langer>Literaturgeier@gmx.at, ricardahiller@gmx.net; <Anna Kligenböck> anna_14@gmx.at; christine.rohringer@gmail.com; franz.gregor@yahoo.com; valentin.parzer@gmail.com; <Patrick Ritt> a0900180@unet.univie.ac.at; <Steiner Christian> a0804956@unet.univie.ac.at; <Daniel Stifter> a0909555@unet.univie.ac.at;

Kurzfassung

Das Gelingen bzw. die Nachhaltigkeit von Lernprozessen hängt maßgeblich davon ab, ob es gelingt einen Konzeptwechsel von Alltagsvorstellungen zu physikalisch adäquaten Vorstellungen zu initiieren. Die Kenntnis der möglichen Ausgangskonzepte von Lernenden ist hierzu ein nicht zu unterschätzender Schlüssel. Im Bereich der Anfangsoptik stellt vor allem das Verständnis von Körperfarben eine große Herausforderung für Schülerinnen und Schüler dar. Selbst konventioneller Physikunterricht scheint die Vorstellung von Farbe als feste und unveränderliche Eigenschaft eines Körpers – ähnlich wie Masse – nicht zu beheben. Als eine der Lernhürden hat sich die unzureichende Konzeptualisierung von weißem Licht herausgestellt, die jedoch als Basis für das Verständnis von Körperfarben unverzichtbar ist. Die Akzeptanz von weißem Licht als Zusammensetzung von verschiedenen Spektralfarben ist die notwendige Voraussetzung damit Farbwahrnehmung als Folge selektiver Reflexionsprozesse begriffen werden kann. Dieser Beitrag berichtet eine explorative Interviewbefragung von Probanden verschiedener Altersgruppen zu deren Vorstellungen bezüglich weißen Lichts.

1. Einleitung

Optische Phänomene sind Teil des Alltags von Jugendlichen und Erwachsenen. Trotzdem gelingt es kaum für die Erklärung optischer Phänomene physikalisch angemessene Konzepte heranzuziehen ([1];[2]). Selbst Anfangsunterricht im Bereich der Optik führt hier zu unwesentlichen Veränderungen bzw. Verbesserungen [3].

Als eines der schwierigsten Gebiete innerhalb der Anfangsoptik stellt sich vielfach der Bereich der Farben heraus, besonders wenn das Wellenkonzept noch nicht zur Verfügung steht.¹ Eine Hürde für das

Verstehen von Körperfarben sind fest verankerte Alltagserfahrungen, die sich aus Sicht der Lernenden in zahlreichen Lebenslagen als plausibel und zielführend erwiesen haben (siehe Abbildung 1). Hiernach ist Farbe eine immanente und unveränderbare Eigenschaft von Körpern. Diese körpereigene Farbe – so die Vorstellung vieler Lernender – wird durch Beleuchtung mit Licht sichtbar gemacht. Als beleuchtendes Licht wird, den Alltagserfahrungen entsprechend, vorwiegend weißes Licht angenommen [4].

Dieser auf Alltagserfahrungen basierende Mechanismus, der Körpern eine feste, unveränderliche Farbe zuschreibt, behindert Lernprozesse maßgeblich, zumal auch die Rolle des beleuchtenden Lichtes respektive dessen Zusammensetzung ausgespart bleibt. Die Aufgabe von Unterricht besteht nun darin, ein Verständnis für Farbwahrnehmung, als ein Phänomen zu schaffen, das nicht alleinig von der Beschaffenheit des betrachteten Gegenstandes abhängt, sondern auch von der Zusammensetzung des einfallenden Lichtes und nicht zuletzt von physiologischen Prozessen im Beobachter selbst (siehe Abbildung 2).

Generell erschwerend für einen Konzeptwechsel [5] in Richtung des physikalisch angemesseneren Konzepts, wie es in Abbildung 2 dargestellt ist, ist die Tatsache, dass in der Lebenswelt der Lernenden Gegenstände überwiegend mit weißem Licht beleuchtet werden ([6]; [7]).

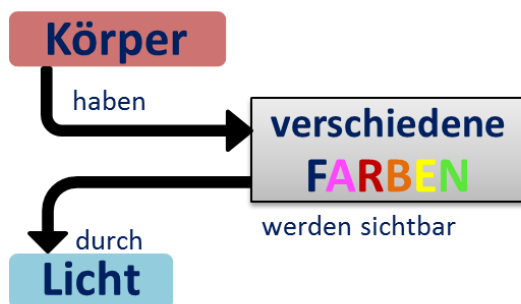


Abb. 1: Alltagsvorstellung zum Zusammenhang zwischen Körperfarben und Licht, abgeändert nach [4]

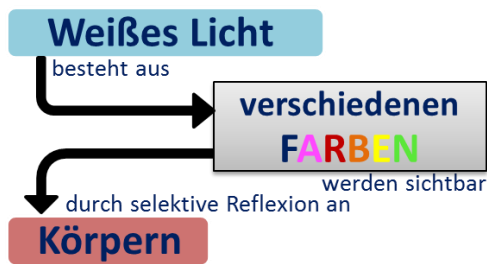


Abb. 2: Erwünschtes Konzept zur Beziehung zwischen Körperfarben und weißem Licht, abgeändert nach [4]

Als unverzichtbare Basis für das Verständnis von „Körperfarben“ kristallisiert sich damit das Konzept von weißem Licht als Zusammensetzung der verschiedenen Spektralfarben heraus. Lehnen Lernende dieses Konzept ab, ist es schwierig Farbwahrnehmung als Folge selektiver Reflexion einzelner Lichtfarben an Körpern zu begreifen.

Anlass für die im Folgenden vorgestellte Untersuchung sind die Interviewergebnisse von Befragungen, die im Rahmen von Lernmaterialentwicklungen zur Anfangsoptik mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt wurden. Dabei stellte sich heraus, dass die überwiegende Mehrheit der Befragten mit dem Fachbegriff „weißes Licht“ nichts anfangen konnten bzw. kein physikalisch adäquates Konzept damit verbanden, obwohl alle befragten Schülerinnen und Schüler im vorangegangenen Schuljahr am Optikunterricht teilgenommen hatten. Weitere Details zu dieser Befragung finden sich in [8].

Die wenigen Ergebnisse aus der Schülervorstellungsforschung zu weißem Licht stützen die gefundenen Vorstellungen gut. Wiesner [9] wie auch Feher und Meyer [1] berichten zum Beispiel nicht nur von einer Ablehnung der Idee von weißem Licht bzw. Sonnenlicht als Zusammensetzung aus weißem Licht, sondern auch von der Vorstellung, der zu Folge weißem Licht das Charakteristikum „hell“ zugeordnet wird, als auch die Eigenschaft, die Farben von Gegenständen sichtbar zu machen. Zu Sonnenlicht im Speziellen findet sich ebenfalls bei Feher und Meyer [1] die Vorstellung, dass es gelb wie die Sonne ist sowie hell und warm.

2. Fachliche Klärung und Elementarisierung des Konzepts „weißes Licht“

Im vorangegangenen Teil dieses Beitrags war vom physikalischen Konzept „weißes Licht“ die Rede, ohne dies als solches genauer zu hinterleuchten und zu beschreiben. Ebenso wurde von physikalisch angemessenen Vorstellungen über weißes Licht, die

Lernenden durch den Anfangsoptikunterricht erwerben sollten, gesprochen, ohne diese zu explizieren. Diese beiden Punkte, die fachlich physikalische Klärung eines Konzepts, wie auch die daraus ableitbare Elementarisierung für unterschiedliche Zielgruppen, sind zwei wesentliche Schritte um effiziente Lernumgebungen zu gestalten. Als theoretische Basis kann hier das Modell der didaktischen Rekonstruktion [10] fungieren. Van Dijk und Kattmann fassen den Prozess der didaktischen Strukturierung folgend zusammen [11]:

“Firstly, the similarities between students’ conceptions and the scientific conceptions must be considered mutually. Secondly, the educational objectives and the students’ ideas have to be put in a context that is understandable for students. The abstract scientific conceptions have to be enriched and embedded in the science content for teaching.”

Für den vorliegenden Beitrag ist des Weiteren eine fachliche Klärung des Konzepts “weißes Licht” und vor allem eine Elementarisierung, die als Grundlage für die physikalische Bewertung der von den Probanden geäußerten Vorstellungen dient, unumgänglich.

Für die fachlich physikalische Klärung wurde ein Standardwerk zur Optik, das auch als Grundlage universitärer Lehrveranstaltungen dient, herangezogen. Bei Hecht findet sich die Beschreibung von weißem Licht als [12]:

“[Ü]berlagerung aller Farben des sichtbaren Spektrums. Der Begriff *Weiß* scheint also von unserer Wahrnehmung des Tageslichtspektrums auf der Erde abzuhängen – einer breiten Frequenzverteilung, die im Violetten schneller als im Roten abfällt. [...]. Das sensorische Feld der Großhirnrinde des Menschen, das für das Farbenerkennen verantwortlich ist, nimmt Weiß als eine breite Mischung von Frequenzen wahr, die im allgemeinen in jedem Teil die gleiche Energiemenge besitzen. [...]. Trotzdem erscheinen viele verschiedene Verteilungen mehr oder weniger weiß. Uns erscheint ein Blatt Papier unabhängig davon weiß, ob wir es im Licht einer Glühlampe oder im Freien beim Tageslicht sehen, obwohl jene Farbzusammensetzungen ganz anders sind.”

Als elementare Grundideen wurden daraus folgende Punkte abgeleitet [8]:

1. Weißes Licht setzt sich aus allen Farben des sichtbaren Spektrums zusammen.
2. Die Energieverteilung entlang des Frequenzspektrums von weißem Licht ist gleichmäßig.
3. Farbwahrnehmung ist die subjektive physiologische Reaktion des Menschen auf visuelle Reize verschiedener Frequenzbereiche.
4. Viele unterschiedliche Frequenzverteilungen erscheinen als weiß, wenn die menschlichen, physiologischen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden.

Diese vier elementaren Grundideen sollen nun zu einer Elementarisierung in Minimalversion zusammengeführt werden, die berücksichtigt, dass das Wellenmodell von Licht im Anfangsoptikunterricht der Sekundarstufe I laut österreichischem Lehrplan nicht zur Verfügung steht. Diese Einschränkung wirkt sich direkt auf die unter den Punkten b und d zusammengefassten Inhalte aus. Indirekt lässt sich auch Punkt c nicht als Elementarisierung des Konzepts „Weißes Licht“ für den Anfangsoptikunterricht umsetzen, zumindest nicht in der ursprünglichen Formulierung basierend auf dem Frequenzbegriff.

All diese Rahmenbedingungen berücksichtigend wurde für die im Folgenden beschriebene Untersuchung das Konzept des weißen Lichts in minimalster Form durch folgende Grundideen elementarisiert: *Weißes Licht ist eine Zusammensetzung aus allen Spektralfarben (Regenbogenfarben). Weißes Licht kann in diese Bestandteile (Regenbogenfarben) zerlegt werden, z.B. mit Hilfe eines Prismas. Sonnenlicht bzw. Tageslicht sind weißem Licht ähnlich in ihrer Zusammensetzung.*

3. Ziele, Fragestellungen und Stichprobe

Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es, das Wissen über weißes Licht, sowie die damit verbundenen Konzepte und Idee zu ermitteln. Dabei sollten als Zielgruppe Personen nach ihrem einführenden Optikunterricht der Sekundarstufe, sowie Schülerinnen und Schülern vor ihrem Optikunterricht in den Fokus genommen und verglichen werden. Im Konkreten sollten dabei folgenden Fragestellungen geklärt werden:

- Welche Vorstellungen zu weißem Licht gibt es?
- Wie geläufig ist das Konzept von weißem Licht als Zusammensetzung aus Spektralfarben?
- Welche Quellen von weißem Licht sind bekannt?
- Welche Farbe wird Licht von verschiedenen Lichtquellen (Sonnenlicht, Glühbirne, ...) zugewiesen?
- Wie wird Licht von verschiedenen Lichtquellen (Sonnenlicht, Glühbirne, ...) dargestellt?

Die Stichprobe setzte sich aus 32 Freiwilligen zusammen. 12 davon waren Lernende vor einer formalen Instruktion in Optik (in weiterer Folge als VO bezeichnet), 20 Probanden hatten zumindest den Anfangsoptikunterricht absolviert (in weiterer Folge als NO bezeichnet). Die Probanden waren zwischen 12 und 61 Jahren alt ($m_{\text{Alter}}=22,1a$; $SD=14,4a$). In der Stichprobe lag ein mittleres bis geringes Interesse an Physik vor ($m=1,88$; $SD=0,65$ wobei auf einer dreiteiligen Ratingskala 3 als großes und 1 als kleines Interesse fixiert war). Die persönliche Einschätzung des Schwierigkeitsgrades des Unterrichtsfaches

Physik wurde auf einer ebenfalls dreiteiligen Ratingskala als eher hoch eingestuft ($m=2,16$; $SD=0,57$ hoher Schwierigkeitsgrad=3, geringer Schwierigkeitsgrad=1).

4. Untersuchungsdesign und Methoden

Zur Untersuchung der in den Forschungsfragen definierten Vorstellungen zu weißem Licht wurde die qualitative Methode des Leitfadenterviews gewählt (siehe Abbildung 3).

An allen Konzeptions-, Erhebungs- und Auswertungsprozessen waren Teilnehmerinnen und Teilnehmer einer Fachdidaktiklehveranstaltung („Fachdidaktik der Optik“) beteiligt, die im Rahmen der Gymnasialen Lehramtsausbildung an der Universität Wien angeboten wurde. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden nach der Auseinandersetzung mit Ergebnissen der aktuellen Schülervorstellungsforschung im Bereich der Optik in den Prozess der Leitfadenerstellung einbezogen und anschließend als Interviewer geschult.

Neun der zehn Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Seminars führten Leitfadenterviews mit je drei freiwillig gefundenen Probanden. Eine Teilnehmerin führte fünf Interviews.

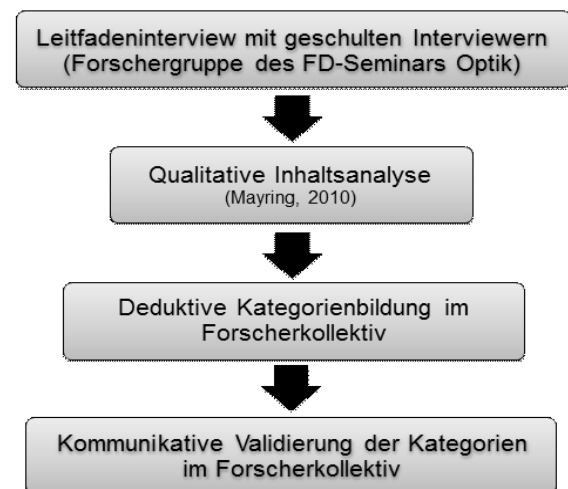


Abb. 3: Übersicht über Untersuchungs- und Auswertungsmethoden

Die erhobenen Daten wurden transkribiert und in Anlehnung an die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ([13]; [14]) analysiert. Die Bildung des Kategoriensystems erfolgte in Zusammenarbeit mit den Teilnehmern des Seminars deduktiv aus den bereits bekannten Ergebnissen der Schülervorstellungsforschung und teilweise auch induktiv aus dem Datenmaterial. Die gefundenen Kategorien wurden des Weiteren einer kommunikativen Validierung durch das Forscherkollektiv unterzogen.

5. Ausgewählte Ergebnisse

Im Folgenden soll auf einige erste ausgewählte Ergebnisse der Interviewstudie eingegangen werden.

Etwa die Hälfte der Befragten Nach-Optik-Probanden (NO) gibt an, dass ihnen das Konzept des weißen Lichtes bekannt ist (siehe Abbildung 4). Bei den Vor-Optik-Probanden (VO) sind es hingegen nur knapp 10%, die dieses Konzept als bekannt bewerten. Signifikant ist der Unterschied zwischen beiden Gruppen auch bezüglich der Selbsteinschätzung, dass das Konzept von weißem Licht unklar ist. Etwa zwei Drittel der VO-Befragten, hingegen aber nur 10% der NO-Befragten gehören dieser Gruppe an.

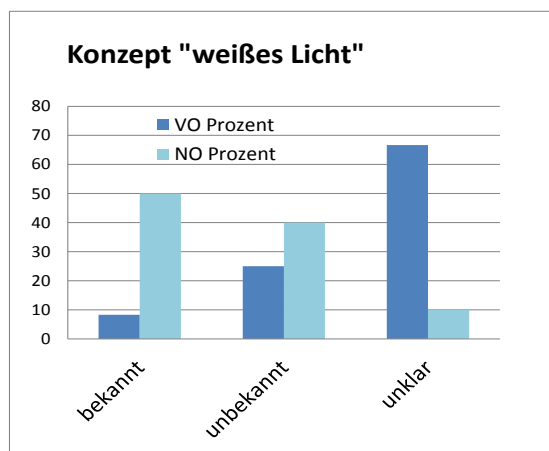


Abb. 4: Bekanntheit des Konzepts „weißes Licht“ in der Selbsteinschätzung der Befragten

Bei genauerer Ergründung des Konzepts von weißem Licht stellt sich allerdings heraus, dass nur knapp 40%ⁱⁱ der NO-Befragten weißes Licht in einen Zusammenhang mit Spektralfarben bringen (siehe Abbildung 5ⁱⁱⁱ). Eben so viele der NO-Befragten beschreiben weißes Licht über dessen Lichtqualität

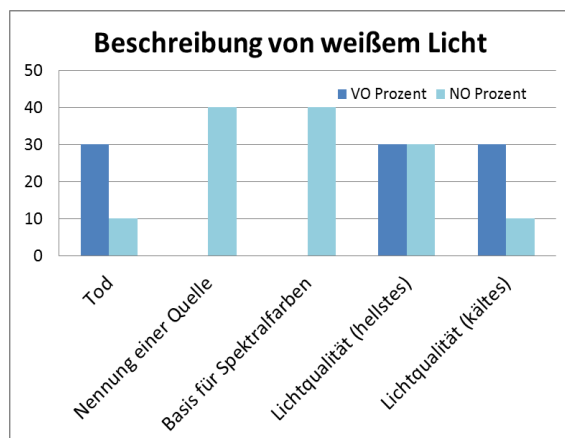


Abb. 5: Beschreibung von weißem Licht

(als besonders helles und/oder besonders kaltes Licht), oder nennen eine Quelle von weißem Licht zu dessen Beschreibung. Interessant scheint auch, dass etwa ein Drittel der VO-Befragten weißes Licht über Nahtoderfahrungen, der Metapher des „weißen Lichtes am Ende des Tunnels“ folgend, beschreibt.

Die Frage nach der Lichtfarbe verschiedener Lichtquellen^{iv}, wie auch Fragestellungen in Zusammenhang mit der Darstellung dieser Lichtarten, wurden im folgenden Interviewverlauf erörtert. Stellvertretend für die Vielzahl der dabei besprochenen Lichtquellen werden hier Ergebnisse zum Licht der Sonne berichtet.

Die Mehrheit der Befragten, egal ob mit oder ohne Optikunterricht, weist Sonnenlicht eine Farbe im Bereich gelb bzw. eine Mischung in der gelb enthalten ist, zu. Weniger als 10% der Befragten führen hier explizit weiß als die Farbe von Sonnenlicht an (siehe Abbildung 6).

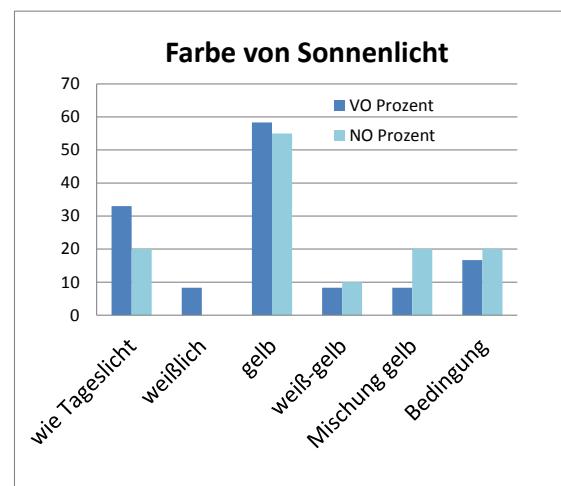


Abb. 6: Beschreibung der Farbe von Sonnenlicht

Wie Abbildung 7 zeigt, kam es keinem der Befragten in den Sinn, Sonnenlicht weiß darzustellen, obwohl weiß auch zur Beschreibung von Sonnenlicht herangezogen wurde (siehe Abbildung 6). Fast zwei Drittel der Befragten beider Gruppen machen ihre Darstellung von der Tageszeit abhängig und wählen hierzu Farbtöne von gelb über orange bis zu rot. In weniger als 10% der Fälle wurde unabhängig von äußeren Faktoren allein die Farbe gelb herangezogen. Spannend hierbei ist auch, dass es sich dabei ausschließlich um Personen aus der VO-Gruppe handelt. Knapp 10% der Befragten äußerten die Unmöglichkeit Sonnenlicht auf Papier darzustellen mit der Begründung, dass ein weißer Stift auf weißem Papier ohnehin nicht sichtbar wäre. Auffallend ist, dass sich bei dieser Fragestellung ein vergleichbar großer Prozentsatz der Antwort überhaupt entzieht.

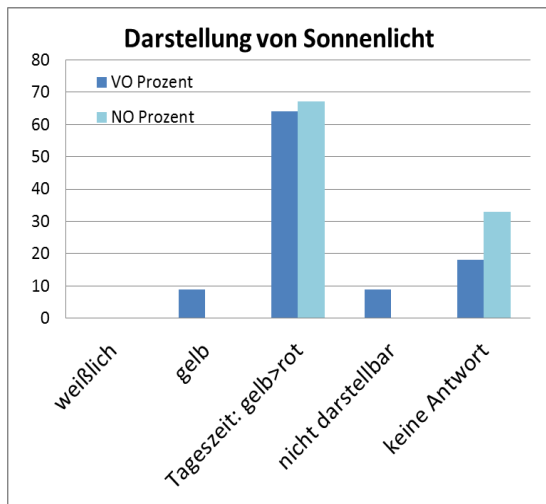


Abb. 7: Verwendete Farbe zur Darstellung von Sonnenlicht

Nach der Begründung für die Wahl dieser Darstellungsart befragt, finden drei Viertel der VO-Gruppe und fast die Hälfte der NO-Gruppe keine Begründung und enthalten sich der Antwort. Ein gutes Viertel der Befragten beider Gruppen führt als Legitimation für die Darstellung des Sonnenlichts im gelb bis orangen Bereich ein gelbes Glühen der Sonne an (siehe Abbildung 8). Etwa ein Fünftel der NO-Befragten findet Gründe, die nicht als fachlich eingestuft werden können, sondern auf eine Prägung durch die Umwelt zurückzuführen sind: „Hab ich so gelernt.“ oder „Das haben alle immer so gemacht, schon im Kindergarten.“

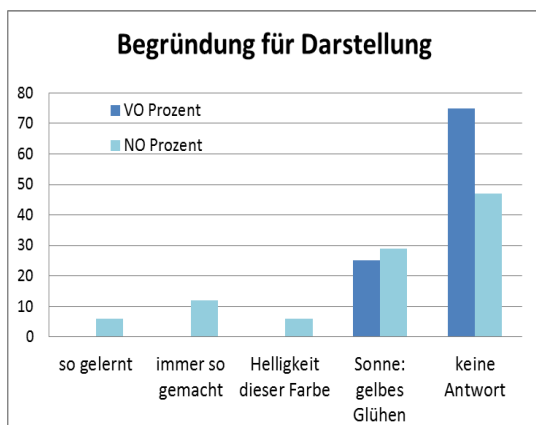


Abb. 8: Begründung für die gewählte Darstellungsart für Sonnenlicht

6. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser explorativen Interviewbefragung weisen darauf hin, dass das physikalische Konzept von weißem Licht für die Befragten, ob mit oder ohne formaler Unterweisung in Optik, schwer fassbar ist. Die Ergebnisse verstärken die Hypothese, dass Optikunterricht nur schwer in der Lage ist gegen die aus Alltagserfahrungen abgeleiteten Vorstellungen über Licht (Tageslicht bzw. Sonnenlicht) erfolgreich zu intervenieren bzw. die offenbar vorhandene, konzeptuelle Leerstelle zu weißem Licht mit adäquaten physikalischen Vorstellungen zu besetzen.

Weißes Lichtes ist zwar bei deutlich mehr Befragten bekannt, die Unterweisung in Optik hatten, allerdings gestehen ungefähr eben so viele der NO-Befragten ein, dass ihnen das Konzept von weißem Licht unbekannt oder unklar ist. Wie die Ergebnisse der Interviews im weiteren Verlauf zeigen, können selbst die Vorstellungen der Befragten, die Optikunterricht hatten und angeben, dass ihnen das Konzept des weißen Lichtes bekannt ist, in der Mehrzahl der Fälle nicht als physikalisch adäquat eingeordnet werden. Ausgehend von diesen Ergebnissen überrascht es wenig, dass die fachdidaktische Forschung eine Reihe von Befunden über schwere Gelingensbedingungen eines Konzeptwechsels im Bereich der Körperfarben bereithält.

Neben den in diesem Bereich fest verhaftenden Alltagsvorstellungen, die vor allem auch in entsprechenden Repräsentationsformen von Kindesbeinen an Ausdruck finden, stellen definitiv auch Physikschulbücher [15], die dieser Problematik kaum Rechnung tragen, Lernhindernisse dar.

7. Literatur

- [1] Feher E, Meyer K: Children's conceptions of color. *Journal of research in Science Teaching* 1992;29(5):505–520.
- [2] Guesne E: Light. In Driver R, Guesne E, Tiberghien A (eds): *Children's ideas in science*, 1993rd ed. Buckingham, Open University Press, 1985, p 10–32.
- [3] Andersson B, Kärrqvist C: How Swedish pupils, aged 12–15 years, understand light and its properties. *International Journal of Science Education* 1983;5(4):387–402.
- [4] Martinez-Borreguero G, Pérez-Rodríguez Á, Suero-López MI, et al.: Detection of Misconceptions about Colour and an Experimentally Tested Proposal to Combat them. *International Journal of Science Education* 2013;35(8):1299–1324.
- [5] Duit R, Treagust D: Conceptual change: A powerful framework for improving science

- teaching and learning. *International Journal of Science Education* 2003;25(6):671–688.
- [6] Eaton J, Anderson CW, Sheldon T: *Light: A teaching module*, Institute for Research on Teaching, 1986.
- [7] Gilbert J, Watts D: *Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education* 1983.
- [8] Haagen-Schützenhöfer C: *Students' Conceptions on the Nature of White Light*. In Dvorak Leos (ed): *Proceedings ICPE 2013*. Prague, in print.
- [9] Wiesner H: *Physikunterricht-an Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten orientiert*. *Unterrichtswissenschaft* 1995;23(2):127–145.
- [10] Kattmann U, Duit R: *The model of educational reconstruction. Bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions*. In Bayrhuber B(ed): *What-Why-How? Research in Didaktik of biology*, 1998, p 253–262.
- [11] van Dijk, E, Kattmann U: *A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education*. *Teaching and teacher education* 2007;23(6):885–897.
- [12] Hecht E: *Optik*. München, Addison-Wesley, 1989.
- [13] Mayring P: *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Beltz, 2010.
- [14] Gropengießer H: *Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* 2005:172–189.
- [15] Haagen-Schützenhöfer C, Holzmeier S: *Wodurch unterscheiden sich Physikschulbücher und forschungsbasiert entwickelte Lernmaterialien zum Themenbereich geometrische Optik?* ÖGFD-Tagung, 2013, Klagenfurt.

ⁱ In den österreichischen Lehrplänen für Physikunterricht der Sekundarstufe I ist das Wellenmodell nicht vorgesehen. Der Anfangsoptikunterricht inklusive der Farbenlehre ist allerdings ein zentraler Bestandteil des Physiklehrplans für die Sekundarstufe I.

ⁱⁱ Die Prozentzahlen übersteigen in Summe 100% auf Grund von Doppelnennungen.

ⁱⁱⁱ Mehrfachnennungen bzw. Stimmenthaltungen führen dazu, dass ich die einzelnen Kategorien nicht exakt auf 100% addieren.

^{iv} Lichtquellen die hierbei zur Auswahl standen, können nach der weiter oben fixierten Minimalelementarisierungsversion von weißem Licht als Quellen weißen Lichts kategorisiert werden.